

基于 NSGA II 的变电站电压无功控制方法

杨 坤¹, 魏小淤²

(1 四川省电力公司, 四川 成都 610041; 2 上海电力设计院, 上海 200025)

摘 要: 为了防止变压器分接头和电容器开关频繁动作, 通过一种设备状态诊断法建立了变电站电压无功多目标控制模型。该诊断方法根据控制设备连续动作时间间隔、已动作次数、电压无功越界持续时间分别引入惰性因子、比例因子和越限指标, 构成变电站电压无功多目标控制模型, 并结合 NSGA II 多目标进化算法进行求解。实例表明, 改进方法在保证电压无功质量的同时, 有效地解决了控制设备频繁动作问题, 具有很好的实用性和有效性。

关键词: NSGA II 算法; 设备状态诊断; 惰性因子; 比例因子

Abstract By evaluating the state of the equipment the voltage/reactive power multi-objective control model of the substation is established. The method introduces inertia factor proportionality factor and limit-exceeded indicator to construct multi-objective control model according to the time interval between equipment operations operation times and the time of voltage/reactive power exceeding limits. Model is solved by NSGA II (non-dominated sorting genetic algorithm). The examples verify that the method can handle the problems of equipment which operates frequently and ensure the power quality. It is a method with practicability and effectiveness.

Key words NSGA II algorithm; equipment state evaluation; inertia factor; proportionality factor

中图分类号: TM761 **文献标志码:** A **文章编号:** 1003-6954(2010)05-0071-04

电压是衡量电能质量的重要指标, 合理的无功分布可以保证电压质量并降低电网的有功损耗^[1]。变电站电压无功优化控制就是通过调节有载调压变压器的分接头和无功补偿设备以保证电压质量和降低有功损耗, 使电网经济运行。

不限制控制设备动作次数可以得到更好的电压无功控制效果, 但频繁动作将缩短设备的使用寿命, 增加设备投资。考虑到设备运行的经济性, 必须限制其动作次数。

目前针对变电站电压无功优化控制的方法较多, 其中最为经典的“九区图”^[2-4]及其系列方法; “十一区图”^[5]、“十三区图”^[6]、“十七区图”^[7-8], 已广泛应用于实际控制。文献[9-11]在传统“九区图”基础上, 引入无功模糊边界调节判据, 解决了“九区图”中部分区域调节振荡问题。文献[12-14]提出了一种根据操作动作矢量直接确定“五区图”动作边界的方法, 其控制精度、控制效果优于“九区图”控制策略。上述方法控制简单, 在电压变化平缓和负荷波动小的电网中可以取得较好的控制效果, 但当系统电压变化剧烈、负荷波动较大时, 设备会频繁动作。为了合理地分配设备动作次数, 文献[15-22]提出对一天负荷分类分段, 然后根据负荷的变化趋势实现对设备动

作的控制。此类方法很好地解决了设备频繁动作问题, 但其实现需要准确的负荷预测曲线甚至高压侧电压预测曲线, 负荷预测方法尽管很多, 但预测精度仍是研究人员关注的问题^[23]。

针对电压无功控制中设备频繁动作问题, 提出一种设备状态诊断方法来改进变电站电压无功控制。该方法将控制设备状态定义为可动作和不可动作 2 种, 根据其连续动作时间间隔、已动作次数、电压无功越界持续时间分别引入惰性因子、比例因子、越限指标, 判定设备所处状态, 并结合 NSGA II 多目标进化算法, 形成变电站电压无功多目标控制方法。该方法无需对负荷进行预测, 直接利用电压、负荷实时数据对变电站实施在线控制, 且算法简单, 易于程序实现。实例表明, 改进方法有效地限制了设备动作次数, 同时得到了较高的电压无功合格率, 具有较好实用性。

1 结合设备状态诊断的控制模型

将设备所处状态分为 2 种, 即可动作和不可动作状态, 可由惰性因子和比例因子确定。

1.1 惰性因子

变压器分接头动作后需要一段灭弧冷却时间, 若

在此时间内再次动作,触头将严重损坏,电容器开关也是如此。因此每台控制设备连续动作时间间隔必须大于 T_{min} , 小于此间隔不允许动作。同时,设备一天动作次数不能超过 N_{max} , 否则,会缩短其使用寿命,因此必须对动作次数加以限制。故引入惰性因子 μ_1 , 将动作次数平均分配于一天,并以设备连续两次动作间隔时间 T_{avg} 作为设备动作是否频繁的参考量,当连续两次动作间隔时间小于该值时,减缓设备动作。 μ_1 数学表达如下。

$$\mu_1 = \begin{cases} 0 & (t_{diff} \leq T_{min}) \\ \frac{1}{T_{avg} - T_{min}} (t_{diff} - T_{min}) & (T_{min} < t_{diff} < T_{avg}) \\ 1 & (t_{diff} \geq T_{avg}) \end{cases} \quad (1)$$

其中 $T_{avg} = 86\,400 / N_{max}$ s t_{diff} 为本次计算时刻与设备最近一次动作时刻的差值。 μ_1 取值曲线见图 1。

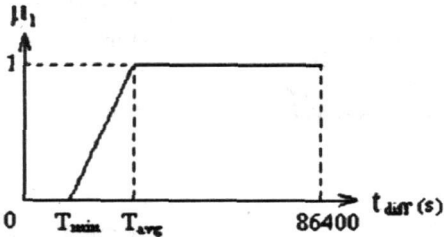


图 1 惰性因子曲线

1.2 比例因子

若控制设备在较短时间内发生了较多次动作,需要加以限制,否则,可能造成一段时间后动作次数耗尽。为此,引入比例因子 μ_2 , 将全天 86 400 s 分成 N_{max} (设备一天最大动作次数) 个连续时间区段,分别标记为 1、2... N_{max} 。若当前时刻所处区段编号 L 小于设备将动作次数 n_{next} , 表明在较短时间内占用了较多调节资源,应减缓设备动作,否则予以适当加速。 μ_2 的数学表达如下。

$$\mu_2 = \begin{cases} \frac{L}{n_{next}} & N_{max} \geq L \geq 1, N_{max} \geq n_{next} > 1 \\ 0 & n > N_{max} \end{cases} \quad (2)$$

其中, L 为当前时刻区段编号; n_{next} 表示为设备将动作次数。

μ_2 弥补了 μ_1 的不足, μ_1 着眼于设备连续两次动作时间间隔,是从局部时间角度来调节设备动作,而 μ_2 则从时间总体上对次数分配进行调整。

1.3 电压、无功越限指标

惰性因子和比例因子单纯从设备自身出发,未考虑变电站实时运行状态,可能导致电压无功越界后设

备无动作,调节严重滞后。为此,设计电压越界指标 μ_3 、无功越界指标 μ_4 。当电压无功较长时间越界时,加速设备动作以保证供电质量,同时避开短时扰动以防止不必要的动作。若设 t_v 为电压越界持续时间, t_q 为无功越界持续时间,为避开短时扰动,根据 IEEE 关于电磁现象和电能质量的分类^[24],短时电压变动范围为 3 s~1 min, 可设计数学表达如下。

$$\mu_3 = \begin{cases} 0, & t_v \leq 60 \\ t_v, & t_v > 60 \end{cases} \quad (3)$$

$$\mu_4 = \begin{cases} 0, & t_q \leq 60 \\ t_q, & t_q > 60 \end{cases} \quad (4)$$

1.4 数学模型

$$\begin{cases} \text{Min}(-\sum_{i=1}^{N_T} \mu_1^i, -\sum_{i=1}^{N_T} \mu_2^i, \mu_3, \mu_4) \\ s.t. \quad h = 0; g < 0 \end{cases} \quad (5)$$

其中, h 为潮流等式约束矩阵; g 为各节点不等式约束矩阵; N_T 为变电站变压器个数。

2 NSGA II算法

1.4 节的数学模型是一个多目标优化模型。考虑应用目前国际上广泛应用的求解多目标 Pareto 解集的 NSGA II 算法^[25]进行求解。其基本求解步骤:①生成初始种群 P_t ;②通过拥挤度选择 (crowding selection), 交叉, 变异操作从父代种群 P_t 中生成子代种群 Q_t ;③ P_t 和 Q_t 合成大的种群 R_t , 然后对整个种群 R_t 进行非支配解集排序;④当排序完成后,用 R_t 中排序靠前的非支配集的解填满新一代父代种群 P_{t+1} , 由于 R_t 的规模是 P_{t+1} 的 2 倍, R_t 中未使用的解将被直接删除掉;⑤对 P_{t+1} 中的元素进行拥挤度排序 (crowding-sort), 保留其中排序情况最好的解;若达到迭代次数则输出 P_{t+1} ; 否则, 转到步骤 2)。算法的流程

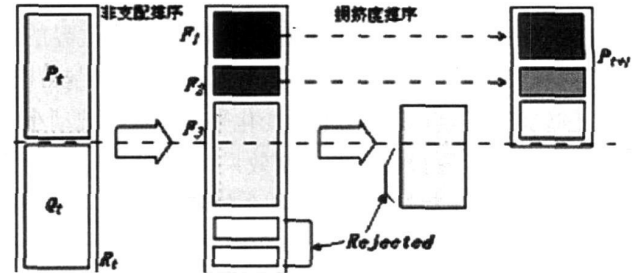


图 2 NSGA II 算法流程

3 算例及分析

采用改进方法对某市多座变电站进行了模拟计算,因篇幅所限仅列出其中一座变电站的情况。该变电站如图 3 所示。

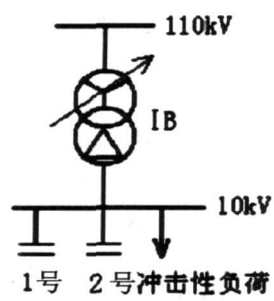
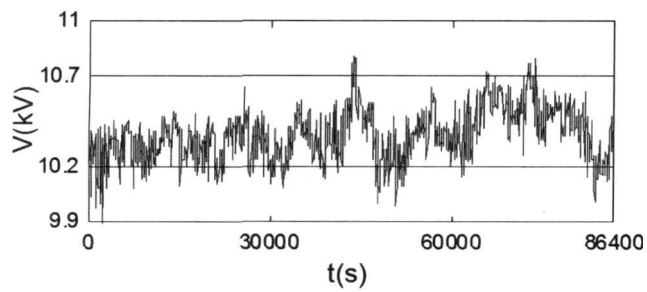
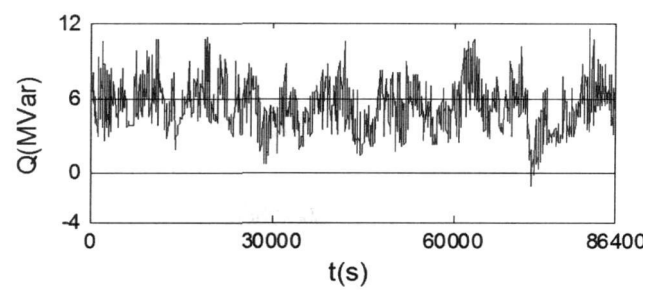


图 3 某变电站接线图



(a) 低压母线电压曲线



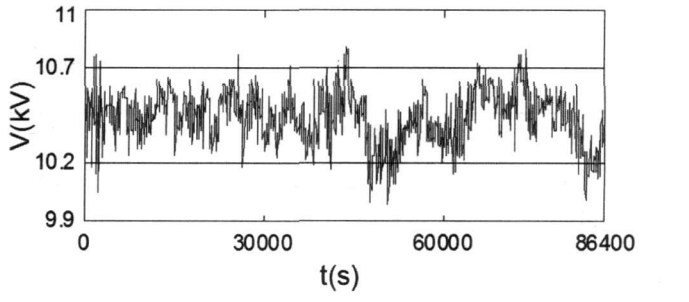
(b) 负荷无功曲线

图 4 实测电压无功曲线

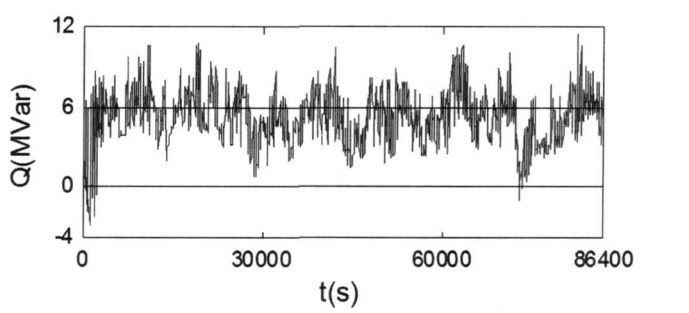
图中变压器变压比为 $110 \times (\pm 8 \times 1.25\%) \text{ kV} / 10.5 \text{ kV}$, 2 台电容器容量为 3 Mvar , 一天内规定分接头最大动作次数为 12、最小连续动作时间间隔为 3 min , 每台电容器开关最大动作次数为 6、最小连续动作时间间隔为 5 min 。一钢厂接于该站, 负荷呈冲击性, 波动频繁。实测低压母线电压曲线、负荷无功曲线见图 4(a)、(b), 采样周期为 6 s 。

设分接头一天最大动作次数为 12, 每台电容器最大动作次数为 6。变电站原控制系统优化电压曲线及无功曲线, 采用以上方法优化电压曲线及无功曲

线分别见图 5(a)、(b), 6(a)、(b)。表 1 列出了各项统计数据。

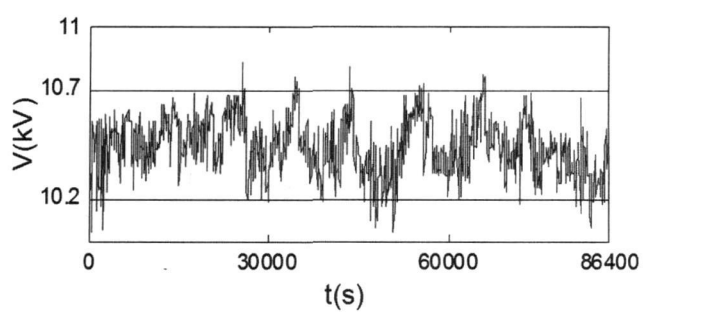


(a) 优化电压曲线

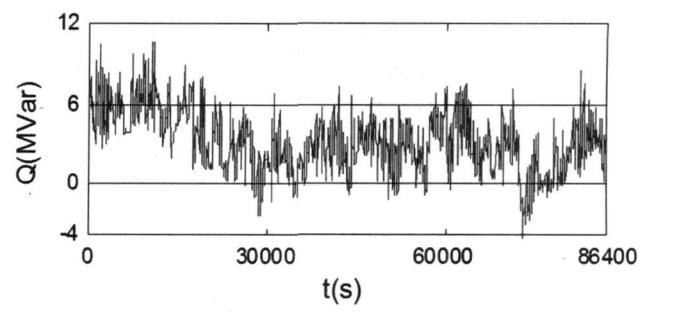


(b) 优化无功曲线

图 5 原系统优化曲线



(a) 优化电压曲线



(a) 优化电压曲线

图 6 所提方法优化曲线

由图 5、6、表 1 可知, 在限制设备动作次数时, 原控制方法耗费了全部的分接头和电容器动作次数, 电压合格率仅有 92.71%, 无功合格率为 65.43%。采用所提方法后, 分接头动作 10 次, 每台电容器动作不

表 1 数据统计 2					
项目	电压合格 率 /%	无功合格 率 /%	变压器 动作次数	1 号电容器 动作次数	2 号电容器 动作次数
初始值	87.64	64.86	—	—	—
原方法	92.71	65.43	12	6	6
本文	94.21	78.20	10	4	3

超过 4 次,其电压合格率达到 94.21%,无功合格率达到 78.20%。说明在限制设备动作次数时,所提方法同样能保证电压无功合格率,减少设备动作次数。

4 结 语

提出了一种设备状态诊断法来改进变电站电压无功控制,结合 NSGA II 算法形成变电站多目标电压无功控制方法。

该方法不需负荷预测,直接利用实测数据进行优化计算,具有良好的实时性。

仿真结果表明,该方法以较少的设备动作次数达到了更好的电压无功合格率,说明该方法具有良好的实用性。

参考文献

[1] 刘天琪,邱晓燕.电力系统分析理论[M].北京:科学出版社,2005.

[2] 庄侃沁,李兴源.变电站电压无功控制策略和实现方式[J].电力系统自动化,2001,25(15):47—50.

[3] 苏泽光.变电站电压无功控制研究[J].电力系统自动化设备,2001,21(12):19—22.

[4] 严浩军.变电站电压无功综合控制策略的改进[J].电网技术,1997,21(10):47—49.

[5] 陈雪莹.基于十一区理论的变电站智能型无功补偿系统的研制[J].能源与环境,2006(2):74—76.

[6] 赵登福,司喆,等.新型变电站电压无功综合控制装置的研制[J].电网技术,2000,24(6):14—17.

[7] 沈曙明.变电站电压无功综合自动控制的实现与探讨[J].继电器,2000,28(11):60—62.

[8] 张永健.电网监控与调度自动化[M].北京:中国电力出版社,2007.

[9] 陈远华,秦荃华,杨晓红,等.基于模糊边界无功调节判据的电压无功综合控制[J].中国电力,2002,35(10):50—53.

[10] 阎振坤,厉吉文,李晓华.基于模糊边界和双九区图的变电站电压无功控制策略研究[J].继电器,2005,33(10):36—40.

[11] 张明军,厉吉文,董洁.模糊边界的电压无功调节判据

[J].电力自动化设备,2004,24(11):58—59.

[12] 蔡凯.电压无功综合控制装置控制原理的新讨论——由“九区图”到“五区图”[J].电力系统自动化,2004,28(19):91—95.

[13] 孙文生,张明军.五区图变电站电压无功控制原理研究[J].电力自动化设备,2005,25(12):39—62.

[14] 孙文生,张明军.关于“五区图”电压无功综合控制原理的再讨论[J].电力系统自动化,2005,29(23):69—75.

[15] Feng—Chang Lu, Yuan—Yih Hsu. Fuzzy Dynamic Programming Approach to Reactive Power/voltage Control in a Distribution Substation[J]. IEEE Trans on Power Systems 1995, 12(2): 681—688.

[16] Ruey—Hsun Liang, Yung—Shuen Wang. Fuzzy—based Reactive Power and Voltage Control in a Distribution System[J]. IEEE Trans on Power Systems 2003, 18(2): 610—618.

[17] T. Kumano, M. Takasaki. A Method to Identify the Optimal Voltage Control Structure of Electric Power Systems[J]. IEEE Power Engineering Society General Meeting Toronto, Canada 2003: 412—417.

[18] Z. H. Bi, Y. H. Song, et al. Integration of Algorithmic and Heuristic Techniques for Transition—optimised Voltage and Reactive Power Control[J]. Generation, Transmission and Distribution IEE Proceedings 2006, 153(2) 205—210.

[19] Hu Z, Wang X, Chen H, et al. Volt/var Control in Distribution Systems Using a Time—interval Based Approach[J]. 2003, 150(5): 548—554.

[20] 李林川,周崇泉,张全.基于功率和电压组合分段的变电站无功控制[J].高电压技术,2007,33(1):57—60.

[21] 熊小伏,王志勇.引入负荷预测的变电站电压无功控制[J].电力系统自动化,2003,27(13):58—60.

[22] 王秀丽,李正文,胡泽春.高压配电网无功/电压的日分段综合优化控制[J].电力系统自动化,2006,30(7):5—9.

[23] 康重庆,夏清,张伯明.电力系统负荷预测研究综述预发展方向的探讨[J].电力系统自动化,2004,28(17):1—11.

[24] 肖湘宁等.电能质量分析与控制[M].北京:中国电力出版社,2004.

[25] K. Deb, A. Pratap, S. Agarwal and T. Meyarivan. A Fast and Elitist Multiobjective Genetic Algorithm: NSGA—II [J]. IEEE Trans On Evolutionary Computation 2002, 6(2): 182—197.

(收稿日期:2010—06—28)